


# QUALITY INSPECTING METHOD IN LASER BEAM WELDING AND ITS EQUIPMENT

**Patent number:** JP10006051  
**Publication date:** 1998-01-13  
**Inventor:** MORI KIYOKAZU  
**Applicant:** NISSAN MOTOR CO LTD  
**Classification:**  
**- International:** B23K26/00; B23K26/00; G01J3/28  
**- european:**  
**Application number:** JP19960157210 19960618  
**Priority number(s):**

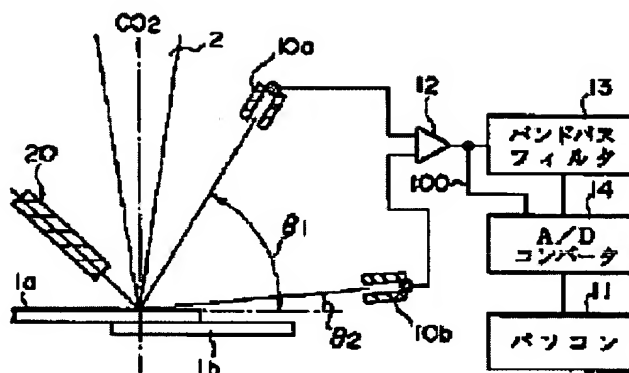
**Also published as:**

 JP10006051 (A)

## Abstract of JP10006051

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To judge during laser beam welding that welding is not suitably executed by judging it as a defect when a frequency distribution based on the measured result of plasma light beam in the case of welding two or more works is the same as a previously stored frequency distribution in the quality inspecting method of laser beam welding.

**SOLUTION:** A differential amplifier 12 for taking out only a luminous signal in the inner part of a keyhole from signals from sensors 10a and 10b is provided in order to measure the luminous intensity of plasma light beam. A signal from the differential amplifier 12 passes through a band path filter 13 and inputted into a personal computer 11 via a converter 14. The frequency distribution being a reference for judging the quality of welding is previously stored in the personal computer 11, and the quality at the time of welding is judged by comparing with the measured result. A laser beam light 2 required for welding is irradiated from the upper side of a work 1a. Sensor 10a and 10b are provided in the position where an elevation angle from the surface of the work 1a in the laser irradiating side is different.



Data supplied from the esp@cenet database - Patent Abstracts of Japan

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-6051

(43) 公開日 平成10年(1998) 1月13日

(51) Int.Cl. <sup>8</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
B 2 3 K 26/00			B 2 3 K 26/00	P
	3 1 0			3 1 0 G
G 0 1 J 3/28			G 0 1 J 3/28	

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平8-157210

(22) 出願日 平成 8 年 (1996) 6 月 18 日

(71) 出願人 000003997

日産自動車株式会社

神奈川県横浜市神奈川区宝町 2 番地

(72) 発明者 森 清和

神奈川県横浜市神奈川区宝町 2 番地 日産  
自動車株式会社内

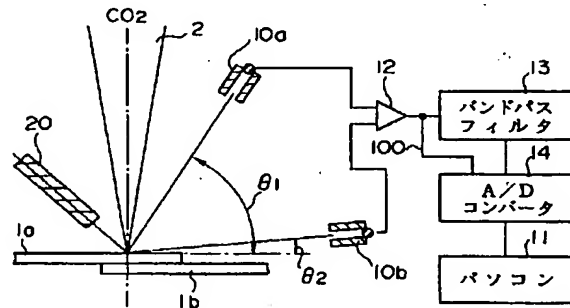
(74) 代理人 弁理士 八田 幹雄 (外 1 名)

(54) 【発明の名称】 レーザ溶接の品質検査方法およびその装置

(57) 【要約】

【課題】 レーザ溶接により、2 枚以上のワークを重ねて溶接する場合に、レーザ溶接中に発生するプラズマ光の観察によって溶接状態を検査することのできるレーザ溶接の品質検査方法およびその装置を提供する。

【解決手段】 センサ 10 a、10 b により溶接時のプラズマ光 3 の発光強度を測定し、パソコン 11 によって、測定したプラズマ光の周波数分布を求め、求めた周波数分布と予め記憶されている規準となる周波数分布とを比較することにより、重ね合わせたワークのレーザ溶接時の品質を検査するレーザ溶接の品質検査方法およびその装置。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 レーザ溶接の際にできるプラズマ光の発光強度を測定することによって、少なくとも2枚以上のワークが重ねられてレーザ溶接される際の品質を検査するための方法であって、

予め、前記少なくとも2枚以上のワークのうち、レーザ照射側に位置するワーク単独でのレーザ溶接時におけるプラズマ発光強度を測定し、その測定結果の周波数分布を記憶する段階と、

前記少なくとも2枚以上のワークを重ねてレーザ溶接する時、プラズマ発光強度を測定し、その測定結果の周波数分布を得て、該得られた周波数分布が前記記憶した周波数分布とほぼ等しい場合には溶接が不良であると判定する段階と、よりなることを特徴とするレーザ溶接の品質検査方法。

【請求項2】 レーザ溶接の際にできるプラズマ光の発光強度を測定することによって、少なくとも2枚以上のワークが重ねられてレーザ溶接される際の品質を検査するための方法であって、

予め、前記少なくとも2枚以上のワークが重ねられて溶接されたときの合計厚さと等しい厚さの材料のレーザ溶接時におけるプラズマ発光強度を測定し、その測定結果の周波数分布を記憶する段階と、

前記少なくとも2枚以上のワークを重ねてレーザ溶接する時、プラズマ発光強度を測定し、その測定結果の周波数分布を得て、該得られた周波数分布が前記記憶した周波数分布とほぼ等しい場合には溶接が良好であると判定する段階と、よりなることを特徴とするレーザ溶接の品質検査方法。

【請求項3】 レーザ溶接の際にできるプラズマ光の発光強度を測定することによって、少なくとも2枚以上のワークが重ねられてレーザ溶接される際の品質を検査するための方法であって、

予め、前記少なくとも2枚以上のワークのうち、レーザ照射側に位置するワーク単独でのレーザ溶接時におけるプラズマ発光強度を測定し、その測定結果の周波数分布を記憶する第1記憶段階と、

予め、前記少なくとも2枚以上のワークが重ねられて溶接されたときの合計厚さと等しい厚さの材料でのレーザ溶接時におけるプラズマ発光強度を測定し、その測定結果の周波数分布を記憶する第2記憶段階と、

前記少なくとも2枚以上のワークを重ねてレーザ溶接する時、プラズマ発光強度を測定し、その測定結果の周波数分布を得て、該得られた周波数分布が前記第1記憶段階で記憶した周波数分布とほぼ等しい場合には溶接が不良であると判定し、前記第2記憶段階で記憶した周波数分布とほぼ等しい場合には溶接が良好であると判定する段階と、よりなることを特徴とするレーザ溶接の品質検査方法。

【請求項4】 レーザ溶接の際にできるプラズマ光の発

光強度を測定することによって、少なくとも2枚以上のワークが重ねられてレーザ溶接される際の品質を検査するための方法であって、

前記少なくとも2枚以上のワークを重ねてレーザ溶接する時、プラズマ発光強度を測定し、その測定結果の周波数分布を得て、該得られた周波数分布の中の特定の周波数の出力値を予め定めた基準値と比較することにより溶接の良否を判定することを特徴とするレーザ溶接の品質検査方法。

【請求項5】 レーザ溶接の際にできるプラズマ光の発光強度を測定することによって、少なくとも2枚以上のワークが重ねられてレーザ溶接される際の品質を検査するための装置であって、

前記プラズマ光の発光強度を測定する測定手段と、該測定手段の測定によって得られた信号から、測定したプラズマ光の周波数分布を求める周波数分布算出手段と、

溶接品質の良不良を判定する基準となる周波数分布を記憶した基準周波数分布記憶手段と、

前記周波数分布算出手段によって求めた周波数分布と、前記基準周波数分布記憶手段に記憶されている周波数分布とを比較して溶接品質の良不良を判定する判定手段と、を具備することを特徴とするレーザ溶接の品質検査装置。

【請求項6】 レーザ溶接の際にできるプラズマ光の発光強度を測定することによって、少なくとも2枚以上のワークが重ねられてレーザ溶接される際の品質を検査するための装置であって、

前記プラズマ光の発光強度を測定する測定手段と、該測定手段の測定によって得られた信号から、予め決めた周波数帯の信号を取り出すためのバンドパスフィルタと、

前記バンドパスフィルタと通過した後の信号を予め決めた規準値と比較して溶接品質の良不良を判定する判定手段と、を具備することを特徴とするレーザ溶接の品質検査装置。

【請求項7】 前記測定手段が、ワーク表面からの仰角が異なる2点に設けられた2つのセンサによってプラズマ発光強度を測定し、該2つのセンサによって得られた2つの信号からキーホール内部のプラズマ光による発光強度のみを取り出すことを特徴とする請求項5または請求項6記載のレーザ溶接の品質検査装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、レーザ溶接の品質検査方法およびその装置に関し、特に少なくとも2枚以上のワークが重ねられてレーザ溶接される際の品質検査方法およびその装置に関する。

【0002】

【従来の技術】レーザ溶接は、ワークに炭酸ガスレーザ

などを照射することによりその部分を溶解して溶接を行うものであり、高パワー密度による低入熱で高効率の溶接工法として、自動車産業などを中心に急速に実用化されている。しかし、溶接品質が開先精度やオイルなどの汚染に敏感に影響され、突発的な欠陥が発生しやすく、加工点での出力や集光スポット径などが、生産ラインで容易に管理できないなど、品質保証上解決すべき課題が多く存在する。

【0003】そこで、レーザ溶接時における溶接品質をインラインで検査することが望まれているが、その方法の一つとして、レーザ溶接時に発生するプラズマ光の発光強度を測定し、これをレーザ溶接の品質検査に用いることが行われている。レーザ溶接時に発生するプラズマ光は、ワークがレーザ光の吸収することによって溶融し、ワーク物質が蒸発、電離したものである。したがって、このプラズマ光を測定することで、ワークの溶融状態を知ること自体は理に合った手法といえることができる。

【0004】従来、このようなプラズマ光を測定することによるレーザ溶接の品質検査方法としては、図1.6に示すように、ワーク1a上からレーザ2が照射されて発生するプラズマ光3の発光強度をワーク表面側に設けられているフォトダイオードなどのセンサ40によって測定し、プラズマ発光強度の時間平均値により、ワークの溶融状態を検査している。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、このようなレーザ溶接時に発生するプラズマ光を観測して溶接品質の検査に用いるといっても、従来は、単にワーク表面の溶融の有無を確認している程度であり、例えば重ね継ぎ手のように2枚以上のワークを重ねて溶接する場合に、2枚のワークが良好に溶接されているかどうかを、溶接中に判定、確認するといったことはできていない。

【0006】これは、例えばワークとして2枚のパネルをレーザ溶接した場合、レーザ照射側のパネル（図では上の板）とその下にあるパネルとの間に隙間があると、アンダーフィルを生じて、溶接後の引張り強度が低下することが知られているが、このような不良が発生している場合でも、従来の品質検査方法では上板がレーザ照射によって溶融していると、プラズマ発光強度自体は良好な値を示すため、このような不良は検知することができないのである。

【0007】そこで、本発明の目的は、レーザ溶接により、少なくとも2枚以上のワークを重ねて溶接する場合に、この2枚以上のワークが良好に溶接されているかどうかを、レーザ溶接中に発生するプラズマ光の測定によって検査することのできるレーザ溶接の品質検査方法およびその装置を提供することである。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明は、各種実験を行

った結果、後に詳細に説明するが、レーザ溶接時におけるプラズマ光を測定した際の信号成分の周波数分布がレーザ光を照射したワークの厚さによって特有の分布があることを見出し、2枚以上のワークを重ねて溶接する場合に、このワークの厚さに特有の周波数分布を溶接品質の判定に利用したものである。

【0009】すなわち、上記目的を達成するための請求項1記載の本発明は、レーザ溶接の際にできるプラズマ光の発光強度を測定することによって、少なくとも2枚以上のワークが重ねられてレーザ溶接される際の品質を検査するための方法であって、予め、前記少なくとも2枚以上のワークのうち、レーザ照射側に位置するワーク単独でのレーザ溶接時におけるプラズマ発光強度を測定し、その測定結果の周波数分布を記憶する段階と、前記少なくとも2枚以上のワークを重ねてレーザ溶接する時、プラズマ発光強度を測定し、その測定結果の周波数分布を得て、該得られた周波数分布が前記記憶した周波数分布とほぼ等しい場合には溶接が不良であると判定する段階と、よりなることを特徴とするレーザ溶接の品質検査方法である。

【0010】また上記目的を達成するための請求項2記載の本発明は、レーザ溶接の際にできるプラズマ光の発光強度を測定することによって、少なくとも2枚以上のワークが重ねられてレーザ溶接される際の品質を検査するための方法であって、予め、前記少なくとも2枚以上のワークが重ねられて溶接されたときの合計厚さと等しい厚さの材料でのレーザ溶接時におけるプラズマ発光強度を測定し、その測定結果の周波数分布を記憶する段階と、前記少なくとも2枚以上のワークを重ねてレーザ溶接する時、プラズマ発光強度を測定し、その測定結果の周波数分布を得て、該得られた周波数分布が前記記憶した周波数分布とほぼ等しい場合には溶接が良好であると判定する段階と、よりなることを特徴とするレーザ溶接の品質検査方法である。

【0011】また上記目的を達成するための請求項3記載の本発明は、レーザ溶接の際にできるプラズマ光の発光強度を測定することによって、少なくとも2枚以上のワークが重ねられてレーザ溶接される際の品質を検査するための方法であって、予め、前記少なくとも2枚以上のワークのうち、レーザ照射側に位置するワーク単独でのレーザ溶接時におけるプラズマ発光強度を測定し、その測定結果の周波数分布を記憶する第1記憶段階と、予め、前記少なくとも2枚以上のワークが重ねられて溶接されたときの合計厚さと等しい厚さの材料でのレーザ溶接時におけるプラズマ発光強度を測定し、その測定結果の周波数分布を記憶する第2記憶段階と、前記少なくとも2枚以上のワークを重ねてレーザ溶接する時、プラズマ発光強度を測定し、その測定結果の周波数分布を得て、該得られた周波数分布が前記第1記憶段階で記憶した周波数分布とほぼ等しい場合には溶接が不良であると

判定し、前記第2記憶段階で記憶した周波数分布とほぼ等しい場合には溶接が良好であると判定する段階と、よりなることを特徴とするレーザー溶接の品質検査方法である。

【0012】また上記目的を達成するための請求項4記載の本発明は、レーザー溶接の際にできるプラズマ光の発光強度を測定することによって、少なくとも2枚以上のワークが重ねられてレーザー溶接される際の品質を検査するための方法であって、前記少なくとも2枚以上のワークを重ねてレーザー溶接する時、プラズマ発光強度を測定し、その測定結果の周波数分布を得て、該得られた周波数分布の中の特定の周波数の出力値を予め定めた基準値と比較することにより溶接の良否を判定することを特徴とするレーザー溶接の品質検査方法である。

【0013】また上記目的を達成するための請求項5記載の本発明は、レーザー溶接の際にできるプラズマ光の発光強度を測定することによって、少なくとも2枚以上のワークが重ねられてレーザー溶接される際の品質を検査するための装置であって、前記プラズマ光の発光強度を測定する測定手段と、該測定手段の測定によって得られた信号から、測定したプラズマ光の周波数分布を求める周波数分布算出手段と、溶接品質の良不良を判定する基準となる周波数分布を記憶した基準周波数分布記憶手段と、前記周波数分布算出手段によって求めた周波数分布と、前記基準周波数分布記憶手段に記憶されている周波数分布とを比較して溶接品質の良不良を判定する判定手段と、を具備することを特徴とするレーザー溶接の品質検査装置である。

【0014】また上記目的を達成するための請求項6記載の本発明は、レーザー溶接の際にできるプラズマ光の発光強度を測定することによって、少なくとも2枚以上のワークが重ねられてレーザー溶接される際の品質を検査するための装置であって、前記プラズマ光の発光強度を測定する測定手段と、該測定手段の測定によって得られた信号から、予め決めた周波数帯の信号を取り出すためのバンドパスフィルタと、前記バンドパスフィルタと通過した後の信号を予め決めた基準値と比較して溶接品質の良不良を判定する判定手段と、を具備することを特徴とするレーザー溶接の品質検査装置である。

【0015】さらに、請求項7記載の本発明は、前記請求項5または6記載の構成において、前記測定手段が、ワーク表面からの仰角が異なる2点に設けられた2つのセンサによってプラズマ発光強度を測定し、該2つのセンサによって得られた2つの信号からキーホール内部のプラズマ光による発光強度のみを取り出すことを特徴とするレーザー溶接の品質検査装置である。

【0016】

【発明の効果】以上のように構成された本発明によれば、請求項ごとに以下のような効果を奏する。

【0017】請求項1記載の本発明によれば、予めレー

ザ照射側のワークの厚さと同じ厚さの材料の周波数分布を記憶しておき、実際に2枚以上のワークを溶接した際のプラズマ光の測定して、その測定結果の周波数分布が予め記憶しておいた周波数分布と同じ場合にはこれを不良と判定することとしたので、その溶接が適切に行われていないことをレーザー溶接中に判断することができるようになる。

【0018】請求項2記載の本発明によれば、予め溶接する2枚以上のワークを合計した厚さの材料のレーザー溶接時の周波数分布を記憶しておき、実際に2枚以上のワークを溶接した際のプラズマ光の測定して、その測定結果の周波数分布が予め記憶しておいた周波数分布と同じ場合にはこれを良好と判定することとしたので、その溶接が良好に行われていることをレーザー溶接中に判断することができるようになる。

【0019】請求項3記載の本発明によれば、予め、レーザー照射側のワークの厚さと同じ厚さの材料のレーザー溶接材時の周波数分布と、溶接する2枚以上のワークを合計した厚さと同じ材料のレーザー溶接時の周波数分布とを記憶しておき、実際に2枚以上のワークを溶接した際のプラズマ光の測定して、その測定結果の周波数分布が予め記憶しておいたレーザー照射側材料の周波数分布と同じ場合にはこれを不良と判定し、また記憶しておいた合計厚さの材料の周波数分布と同じ場合にはこれを良好と判定することとしたので、溶接品質の良不良をレーザー溶接中に判断することができるようになる。

【0020】請求項4記載の本発明によれば、少なくとも2枚以上のワークを重ねてレーザー溶接する時、プラズマ発光強度を測定し、その測定結果の周波数分布を得て、該得られた周波数分布の中の特定の周波数の出力値を予め定めた基準値と比較することにより溶接の良否を判定することとしたので、溶接品質の良不良をレーザー溶接中に、より簡単に判定することができる。

【0021】請求項5記載の本発明によれば、測定手段により溶接時のプラズマ光の発光強度を測定し、周波数分布算出手段により測定したプラズマ光の周波数分布を求め、判定手段が、求めた周波数分布と基準周波数分布記憶手段に予め記憶されている基準となる周波数分布とを比較することにより、重ね合わせたワークのレーザー溶接時の品質を検査することとしたので、その溶接が良好に行われているかどうかをレーザー溶接中に判断することができるようになる。

【0022】請求項6記載の本発明によれば、測定手段により溶接時のプラズマ光の発光強度を測定し、バンドパスフィルタによって予め決めた周波数帯の信号のみ取り出し、判定手段が、取り出した信号の出力値を予め定めた基準値と比較することにより溶接の良否を判定することとしたので、溶接品質の良不良をレーザー溶接中に、より簡単に判断することができる。

【0023】請求項7記載の本発明によれば、前記請求

項5または6記載の構成において、測定手段として2つのセンサを設けてその2つのセンサから取得したプラズマ発光強度の信号からキーホール内部のプラズマ光による発光強度のみを取り出すこととしたので、溶接品質をより正確に検査することが可能となる。

【0024】

【発明の実施の形態】以下、添付した図面を参照して、本発明の一実施の形態を説明する。

【0025】実施の形態1

図1は、本発明を適用したレーザ溶接の品質検査装置を示すブロック図である。

【0026】この品質検査装置は、プラズマ光の発光強度を測定するためのフォトダイオードよりなるセンサ10aおよび10bと、このセンサ10a、10bからの信号からキーホール内部の発光の信号のみを取り出すための差動アンプ12があり、差動アンプ12からの信号が、バンドパスフィルタ13を通り、A/Dコンバータ14を介してパソコン11に入力されている。そして、このパソコン11には、後述するように、溶接の良不良を判定するための基準となる周波数分布が予め記憶されていて、測定した結果と比較することにより溶接時の品質を判定する。また、パソコン11では入力された信号からFFT解析によりその周波数分布を算出し、信号波形や周波数分布などをそのディスプレイ上に表示する（なお、オスロスコープなどを接続してセンサの測定波形を直接表示してもよい）。

【0027】溶接に必要なレーザ光2はワーク1aの上方から照射される。また、アシストガスがノズル20から拭きつけられるようになっていて、ノズル20の吹き出し口先端からレーザ照射位置までは15mm離れている。

【0028】センサ10aおよび10bはそれぞれ重ね溶接される2枚のワーク1aおよび1bのレーザ照射側のワーク1a表面からの仰角が異なる位置に設けられている。センサ10aはワーク1a表面に噴き出したプラズマ光（ブルーム）とキーホール内部のプラズマ光の両方が観測できるように、かつ、レーザ照射の邪魔にならない位置に設けられ、一方、センサ10bはブルームが測定できる位置に設けられる。ここではセンサ10aはワーク1aからの仰角 $\theta 1$ ＝約75度で、レーザ光2のワーク1a上の焦点から120mm離して設置されている。センサ10bはワーク1aからの仰角 $\theta 2$ ＝約5度で、レーザ光2のワーク1a上の焦点から120mm離して設置されている。

【0029】差動アンプ12は、センサ10aの信号からセンサ10bの信号を引き算して出力するもので、これにより、キーホール内部の発光による信号のみが得られる。差し引きされた信号は、差動アンプ12で適宜増幅されて、バンドパスフィルタ13へ出力されている。したがって、ここではセンサ10a、10bおよび差動

アンプ12が測定手段として機能している。なお、各センサ10a、10bの角度と測定させるプラズマ光との関係については後に詳細に説明する。

【0030】バンドパスフィルタ13は、測定した信号の中から必要な周波数帯の信号のみを取り出す（逆に言うと不要な信号を除去する）ものであり、後述するように、ここではレーザ溶接時のプラズマ発光の信号として必要な周波数帯は1～10kHz程度であるので、本装置では、1～10kHz以外の周波数成分を除去するためにこのバンドパスフィルタ13を設けてある。また、実験の必要によりバンドパスフィルタ13を通さない信号を得るためのバイパスライン100も設けてある。

【0031】パソコン11は、溶接する複数のワーク単独で、溶接する際と同じ条件によってレーザ照射を行ったときのキーホール内でのプラズマ光の周波数分布と、ワークを重ね合わせて溶接したときの合計した厚さと等しい厚さの材料について同様にレーザ照射したときのキーホール内でのプラズマ光の周波数分布とが、予めパソコン11内のメモリやハードディスク装置など（不図示）に記憶されており（これらを基準周波数分布と称する）、この記憶された基準周波数分布と実際の溶接の際に得られる周波数分布とを比較して、溶接時の品質の良不良を判定するものである。例えば実際の溶接時の周波数分布がレーザ照射側のワーク単独の周波数分布と略同様であれば不良であり、合計したものの周波数分布と略同様であれば良好であると判定される。したがって、このパソコン11は、周波数分布算出手段、基準周波数分布記憶手段（より具体的にはパソコン内のメモリやハードディスクなど）および判定手段として機能するものである。

【0032】以下、この装置を用いた実験結果について説明する。

【0033】実験には板厚0.8、1.6および2.9mmの3種類の軟鋼板を用い、ビードオン溶接並びに重ね溶接を行った。溶接条件として、加工点でのレーザ出力 $P=3\text{ kW}$ 、溶接速度 $v=3\text{ mm/min}$ 、焦点位置 $F=0$ 、焦点距離 $=250\text{ mm}$ 、アシストガス（Arガス）流量 $Q_{Ar}=30\text{ リットル/min}$ とした。なお、焦点位置 $F$ はワーク表面に対する相対位置であり、ワーク表面上が0、ワーク表面より内部にあるときが $F<0$ 、ワーク表面から外側にあるときが $F>0$ となる。

【0034】センサ10aおよび10bとして用いたフォトダイオードセンサは、波長950nm付近にピーク感度をもち、周波数応答性は数MHz以上であることを確認している。

【0035】図2（a）は、プラズマ光のうち、ブルームとキーホール内とを分離するための実験結果を示すもので、上記同様の装置構成において、センサのみその配置角度を5度から75度まで1度ごとに8個配置して、測定角度と測定されるプラズマ光の発光強度の関係を調

べた結果である。なお、ここでの信号強度はセンサによる受光量を単純に時間平均値として得られたものであり、従来は、このような単純な平均値から溶融しているか否かを判断していた。

【0036】この図から分かるように、得られる信号はセンサの位置に依存しており、角度が増加するにつれ信号強度は単調に増加し、角度が75度では飽和している。角度によって信号強度が増加するのは、測定されるプラズマの領域が多くなるためである。そして、レーザ照射によって得られる溶融池に誘起されるプラズマ温度が溶融池に比べてはるかに高いので、溶融池からの輻射が小さく、プラズマでの吸収・散乱などを無視するとキーホール上部に噴出したブルームからの受光量 $P_p$ は角度に依存せず一定と見なすと、図2(a)に示した密なハッチング部分がブルームからの受光量 $P_p$ 、粗なハッチング部分がキーホール内部からの受光量 $P_k$ とすることができる。この $P_p$ と $P_k$ を概念的に示したものが図2(b)である。

【0037】したがって、上記装置構成の如く2つのセンサ10aおよび10bを75度と5度の位置に配置して、センサ10aの信号からセンサ10bの信号を引くことで、キーホール内部の発光 $P_k$ のみを取り出すことができるのである。

【0038】図3は、上述の装置により、板厚 $t=0.8\text{mm}$ (図3(a))、 $t=1.6\text{mm}$ (図3(b))および $t=2.9\text{mm}$ (図3(c))の3種類の軟鋼板を前記溶接条件によってビードオン溶接を行った際の測定結果である。ここで $P_p$ はブルームの発光強度であり、 $P_k$ はキーホール内の発光強度である(以下同様)。図から分かるように、測定される信号は時間的にその信号強度が激しく変動していることが分かる。

【0039】図4は、測定した結果を $P_p$ 、 $P_k$ についてそれぞれFFT解析した結果である。

【0040】図(上段)から分かるように、 $P_p$ については板厚( $t=0.8\text{mm}$ が図4(a)、 $t=1.6\text{mm}$ が図4(b)、 $t=2.9\text{mm}$ が図4(c))によってその周波数分布はさほど顕著な差は認められず、約10kHzまで同じような分布をしている。これに対し、 $P_k$ (下段)では板厚が薄いほど周波数成分を含んでいることが分かる。

【0041】図5にピーク周波数 $f_{\max}$ と板厚 $t$ との関係を示す。板厚 $0.8\text{mm}$ では $f_{\max}$ は4~5kHz、板厚 $1.6\text{mm}$ では $f_{\max}$ は約2.5kHz、板厚 $2.9\text{mm}$ では $f_{\max}$ は約1.5kHzである。このように板厚3mm以下の場合に、10kHz以下の周波数において顕著な差が見られる。したがって、上記装置においてはバンドパスフィルタ13により10kHz以上の周波数成分について遮断したものである。

【0042】以上の結果をもとに、実際に2枚の軟鋼板を重ねて溶接した際の検査結果について説明する。

【0043】溶接する軟鋼板は $0.8\text{mm}$ 厚、 $40\times 20\text{mm}$ のものを2枚用い、実験のため、隙間間隔 $G$ を下記のように一定に保つためにシムを挟んで2枚重ねて、長さ20mmに渡ってレーザ溶接した試験片を作成した。溶接条件は前記した通り、加工点でのレーザ出力 $P=3\text{kW}$ 、溶接速度 $v=3\text{mm/min}$ 、焦点位置 $F=0$ 、焦点距離 $=250\text{mm}$ 、アシストガス(Arガス)流量 $Q_{Ar}=30\text{リットル/min}$ である。また、重ね溶接の際の隙間間隔 $G$ は0.05、0.1、0.15、0.2、0.25、0.3、0.35、0.4、0.45および0.5mmとした。

【0044】ここで、溶接時の検査結果を説明する前に、上記試験片において、隙間間隔 $G$ を変えて溶接した後の剪断強度を測定した結果について説明する。

【0045】実際に隙間間隔 $G$ を変えて溶接した際の溶接後の剪断強度は、図6に示すように、隙間間隔 $G$ が約0.3mmまではほぼ一定の値となっているが、隙間間隔 $G$ が0.3mmを越えると低下してくるのが分かる。この結果から本試験片については0.3mmが隙間間隔の許容値といえることができる。なお、このような板材を重ねて溶接する重ね継ぎ手においては、その隙間間隔 $G$ が大きくなると強度が低下することは周知であり、特に、自動車ボディーのようなプレス加工品の重ね継ぎ手部分の強度低下を招く原因となっている。

【0046】図7は、上記試験片のレーザ溶接時における周波数分布を、上述した各板厚の単独のものをビードオン溶接したときと同様にして求め、その周波数分布中のピークの周波数 $f_{\max}$ と試験片の隙間間隔 $G$ との関係を示したものである。

【0047】図示するように、隙間間隔 $G=0$ 付近では、板厚 $1.6\text{mm}$ 単独の鋼板のときの $f_{\max}$ である約2.5kHzとほぼ一致しているのに対し、隙間間隔 $G$ が0.2~0.3mmにかけて $f_{\max}$ が急激に増大し、隙間間隔 $G$ が0.3mmのところから、板厚 $0.8\text{mm}$ 単独の鋼板のときの $f_{\max}$ である約5kHzに一致している。

【0048】この結果から、図6に示したように重ね溶接における良好な隙間間隔 $G$ の許容範囲となる $G\leq 0.3\text{mm}$ と、溶接時のプラズマ光の $f_{\max}$ の値の変化とがよく一致している。すなわち、重ね溶接が良好なときはワークが重ねられた合計の板厚のものと同様の $f_{\max}$ となり、不良が発生するような隙間が広い場合には、レーザ照射側ワークの板厚単独のときの $f_{\max}$ に移行することが認められる。

【0049】さらに、図8(a)に、溶接が良好な隙間間隔のうち $G=0.05\text{mm}$ のときの $P_k$ の波形(図8(a)上段)とその周波数分布(図8(a)下段)を、また、溶接不良が発生する $G=0.35\text{mm}$ のときの $P_k$ の波形(図8(b)上段)とその周波数分布(図8(b)下段)を示す。この図と、前述した図4の周波数

分布を比較しても分かるように、溶接不良が発生する  $G = 0.35 \text{ mm}$  のときの周波数分布自体がレーザ照射側のワーク単独のときをほぼ同様の傾向を示していることが分かる。

【0050】以上のような実験結果から分かるように、予め、ワーク単独および重ね溶接されたときの合計板厚で、それぞれ溶接時のプラズマ光の周波数分布を求め、これを記憶しておけば、実際に重ね溶接する際にそのプラズマ光の周波数分布と記憶した周波数分布を比較することで溶接中にその重ね溶接の良不良を判定することができる。すなわち、レーザ照射側の板厚単独の周波数分布と重ね溶接時の周波数分布がほぼ同様であれば、不良であると判断でき、合計板厚と同様の周波数分布であれば良好な溶接が行われていると判断できるものである。特にこのような周波数分布による判断は、前述した図5に示したピーク周波数  $f_{\text{max}}$  と板厚  $t$  との関係から、ワークの厚さが  $3 \text{ mm}$  以下の場合に好適である。

【0051】また、溶接の品質検査としては、単に不良の可能性のみ判定するのであれば、合計板厚の周波数分布を記憶せず、レーザ照射側の板厚単独のときの周波数分布を記憶しておいて、これと比較すれば不良の発生を検知することが可能となり、逆に、合計板厚の周波数分布のみ記憶しておいて、それと同様すれば良好であると判断してもよい。

【0052】なお、溶接の良不良の判定自体は、記憶してある周波数分布と溶接時の周波数分布全体が同様であるかどうか（例えば全体的な波形が相似しているかなど）を判定してもよいが、例えば記憶してある周波数分布のピーク周波数と溶接時の周波数分布のピーク周波数がある程度の範囲内（例えば  $1 \text{ kHz}$  の範囲内）で一致

するかどうかで判定してもよい。

【0053】ここで、以上述べたキーホール内からのプラズマ光の発光強度が振動する理由について説明する。

【0054】このプラズマ発光強度の振動は、以下のようにキーホールそのものの振動現象に大きく依存していると考えられる。キーホールは、図9に示すように、溶融金属壁で囲まれた構造であり、このキーホールの振動は、半径振動（図9（a））、方位角振動（図9（b））、軸振動（図9（c））の3つのモードで振動することが知られている。図9に示すように、各振動モードの次数は  $(N, L)$  で表され、 $N$  = 方位角振動のモード次数、 $L$  = 軸振動のモード次数である。ただし、 $(0, 0)$  は半径振動を表している。

【0055】K r o o s ら (J.Kroos, T.Kein et al; Oscillation of the keyhole in penetration laser from welding, J.Physic;Appl.Physic, Vol.27(1994)pp2023-2030) が各振動モードから、計算によって求めた合成振動の共振振動数と板厚との関係を図10に示す。 $N$  と  $L$  の合成振動がより高次になるほど共振周波数が高くなり、また、高次の合成振動の同一振動モードでの共振周波数

は、板厚が薄くなるほど高くなることが分かる。

【0056】このK r o o s らの計算結果をからすると、上述した本発明で観測したプラズマ発光強度の板厚依存性（板厚が薄いほど測定させるプラズマ光の周波数分布が高い周波数を含む）はキーホールの振動そのものと深い関係があると言うことができる。そして、図4に示したプラズマ光の周波数分布が数  $\text{kHz}$  の範囲に渡って、ブロードに分布するのは、多数の高次振動モードが混在するためと考えられる。また、図5に示した板厚が薄いほど高い周波数成分の強度が大きくなることから、高次の軸振動モードが支配的であることがうかがえる。

【0057】さらに、図8で示したように隙間間隔  $G$  が限界値（ここでは  $0.3 \text{ mm}$ ）以下では  $t = 1.6 \text{ mm}$  と同等の周波数分布を示すのは、上下のワークの合計板厚に等しいキーホールが形成されるためと考えられ、一方、限界値を越えている場合には、上下のワークがそれぞれ別々な振動となり観測されるプラズマ発光としてはレーザ照射側のワークからの発光となり周波数分布が高い方に遷移するものと考えられる。

【0058】なお、上記実験では2枚のワークを重ね溶接した試験片を用いた結果について説明したが、本発明は2枚の重ね溶接に限らず、3枚、4枚さらにそれ以上であっても、予め溶接するワーク単独および合計板厚での周波数分布を取得してこれらを記憶しておき、実際の重ね溶接時に記憶した周波数分布と比較することでその溶接の良不良を判定することができる。

【0059】実施の形態2

本実施の形態2は、上記実施の形態1と同様の装置構成において、バンドパスフィルタ13の通過周波数帯を  $4 \sim 5 \text{ kHz}$  にして、この周波数帯における信号強度を予め決めた規準値と比較することにより溶接の良不良を判断するものである。したがって、装置構成自体は前述した実施の形態1において、図1を参照して説明したものと同様であるので、その説明は省略する。ただし、バンドパスフィルタ13の通過周波数帯は  $4 \sim 5 \text{ kHz}$  であり、またパソコン11では規準値のみ記憶しておけばよいものである。

【0060】図11は、本実施の形態2、すなわち、周波数帯  $4 \sim 5 \text{ kHz}$  での、前述の実施の形態1で用いた重ね溶接の試験片を溶接したときの  $P_k$  の信号強度と隙間間隔  $G$  との関係を示す図面である。なお、信号強度の値はこの周波数帯の信号の2乗平均値である。

【0061】この図から、信号強度が溶接不良が生じる隙間間隔  $G = 0.3 \text{ mm}$  を境に急激に上昇していることが分かる。したがって、ある適当な値を規準（閾値）にとり、その規準より大きな信号強度を検知したときには不良が発生していると判断することができる。ここでは規準値として  $0.035 \text{ (V}^2\text{)}$  としてそれ以上を不良と判定することにより、レーザ溶接中にその溶接品質を判定することができる。なお、図11中に  $P_p$  の信号強

度も示したが $G=0.3\text{mm}$ で僅かに変化が見られるものの、 $P_k$ ほど大きな変化はない。

【0062】比較のために図12に、バンドパスフィルタ13を通さずにセンサからの信号を単純に時間平均（1秒間の平均）したDC成分の信号強度を $P_k$ と $P_p$ について示した。この図と図11とを比較して分かるように、DC成分強度より4～5kHzにおける周波数帯の信号強度の方が顕著な変化を示し、溶接品質の判断に用いることでより精度の高い判定を行うことができる。なお、隙間間隔 $G$ が大きくなるにしたがって、DC成分が変化しているのは、溶接中にワーク内部にキーホールが落ち込むため、プラズマ発光全体が遮蔽されてワークの外で測定されるプラズマ光の発光強度が低下するためと思われる。

【0063】本実施の形態2では、通過させる周波数帯を4～5kHzとしているが、これは試験片の板厚が0.8mmであるためである。すなわち、溶接するレーザー照射側のワーク単独での溶接時のピーク周波数 $f_{\text{max}}$ 部分が通過するようにしたものである。したがって、この通過させる周波数帯は溶接するワーク単独でのピーク周波数に合わせて適宜変更することにより、同様に、その板厚のワークを重ね溶接した際の良不良を判定することができる。

【0064】なお、本実施の形態2ではパソコンを用いて良不良を判定したが、これに限らず、例えば、図13に示すように、キーホール内部のプラズマ光が測定できる位置に配置されたセンサ10からの信号をアンプ120により増幅して、通過周波数帯を任意変更することができるバンドパスフィルタ13と、ある規準値（閾値）を自由に設定でき、その規準値以上の信号が来た場合に信号を出力するコンパレータ110およびコンパレータ110からの信号により点消灯するランプ140などの表示装置により構成してもよい。このように単純な装置構成により、溶接されるワーク単独（特にレーザー照射側のワーク）でのピーク周波数の信号が、設定した規準値を越えた場合にランプ140が点灯して溶接の不良を知らせることができる。また、この場合に、センサは図13に示したように一つでもよく、これは図11を見ても分かるように、特定の周波数帯（ここでは4～5kHz）に着目した場合、キーホールからの発光強度の変化が大きいため、 $P_k$ と $P_p$ を分離しなくても、十分溶接品質の判定が行えるためである。もちろん、図1に示したように、2つのセンサと差動アンプを用いて $P_k$ と $P_p$ を分離して $P_k$ の信号のみ使用してもよい。

#### 【0065】実施の形態3

本実施の形態3では、図14に示すように、キーホール内部のプラズマ光が測定できる位置に配置された1つのセンサ10を用いて該センサ10の前にレンズ15aまたはアパーチャ（図14ではレンズを図示）を設け、このレンズ150aまたはアパーチャによりキーホール内

のプラズマ光のみを検出するものである。したがって、図1に示した装置構成における差動アンプは不要となる。

【0066】その他、バンドパスフィルタ13やパソコン11などの構成およびそれらの動作は前述の実施の形態1と同様である。すなわち、予めパソコン11内にワーク単独および合計板厚の材料での周波数分布を記憶しておき、この記憶した周波数分布と、レンズ150aまたはアパーチャを通して測定された重ね溶接時のプラズマ発光強度の周波数分布とを比較することでその溶接の良不良を判定する。

【0067】レンズまたはアパーチャは、図15に示すように（図15aはレンズ150aの場合、図15bはアパーチャ150bの場合）、プラズマ光の発光を測定する視野を絞り込んで、センサ10の指向性を高くしブルームの影響を少なくして、キーホール内の発光強度を測定するようにするものである。このレンズ150aまたはアパーチャ150bによりセンサ10の指向性が高くなることから、前述の2つのセンサによる差によって $P_k$ のみの発光強度を測定したときと比較すると、若干キーホールの発光 $P_k$ のみの $S/N$ 比は落ちるものの、前記図13に示したように、指向性がないものと比較した場合には、ブルームの影響が少なくなり、 $P_k$ のみの測定感度が向上する。なお、ここでアパーチャとは筒状（図15bに示したもの）またはピンホールもしくはスリット状のもので、センサの視野を制限して指向性を持たせるものである。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明を適用したレーザー溶接の品質検査装置を説明するための図面である。

【図2】 (a)はブルームの発光 $P_p$ およびキーホールの発光 $P_k$ の信号強度とセンサ角度との関係を示す図面であり、(b)はブルームの発光 $P_p$ とキーホールの発光 $P_k$ を示す概念図である。

【図3】 板厚の違いによるプラズマ光を受光した信号の時間変化を示す図面であり、(a)は板厚0.8mm、(b)は板厚1.6mm、(c)は板厚2.9mmである。

【図4】 板厚の違いによるプラズマ光を受光した信号の周波数分布を示す図面であり、(a)は板厚0.8mm、(b)は板厚1.6mm、(c)は板厚2.9mmである。

【図5】 ピーク周波数と板厚との関係を示す図面である。

【図6】 重ね溶接の隙間間隔と剪断強度との関係を示す図面である。

【図7】 重ね溶接の隙間間隔とピーク周波数との関係を示す図面である。

【図8】 重ね溶接時の周波数分布を示す図面であり、

(a)は隙間間隔 $G=0.05\text{mm}$ のとき、(b)は隙

10

20

30

40

50

間隔 $G = 0.35 \text{ mm}$ のときをそれぞれ示す。

【図9】 キーホルの振動を説明するための図面で、(a)は半径振動モード、(b)は方位角振動モード、(c)は軸振動モードをそれぞれ示す。

【図10】 上記図9に示した各振動モードの合成振動周波数と板厚との関係を示す図面である。

【図11】 プラズマ光の周波数4~5 kHzにおける信号強度と隙間間隔との関係を示す図面である。

【図12】 プラズマ光のDC成分の信号強度と隙間間隔との関係を示す図面である。

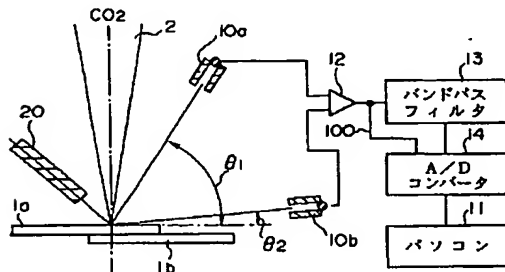
【図13】 本発明を適用したレーザ溶接の品質検査装置の他の構成を示す図面である。

【図14】 本発明を適用したレーザ溶接の品質検査装置のさらに他の構成を示す図面である。

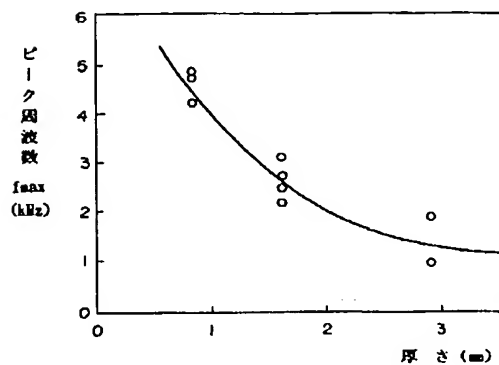
【図15】 上記図14に示したレンズおよびアパーチャを説明するための図面である。

【図16】 従来のレーザ溶接の品質検査方法を説明す\*

【図1】



【図5】



\* するための図面である。

【符号の説明】

1a, 1b...ワーク、

2...レーザ光、

3...プラズマ光、

10, 10a, 10b...センサ、

11...パソコン、

12...差動アンプ、

13...バンドパスフィルタ、

10 14...A/Dコンバータ、

20...ノズル、

110...コンパレータ、

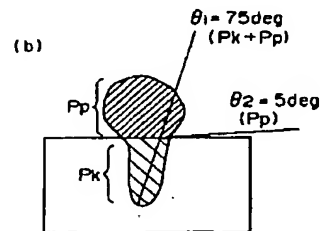
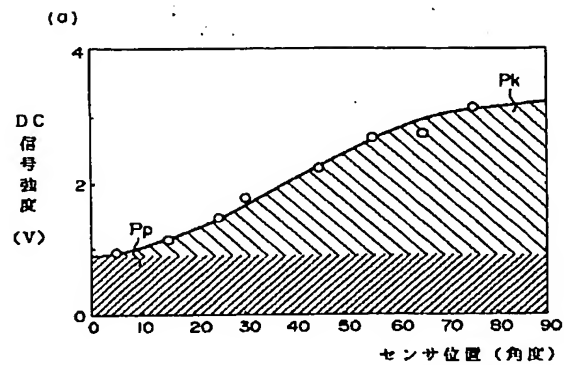
120...アンプ、

140...ランプ

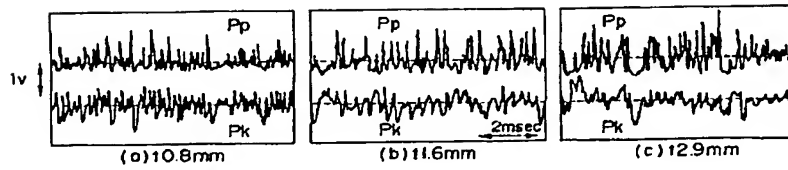
150a...レンズ、

150b...アパーチャ。

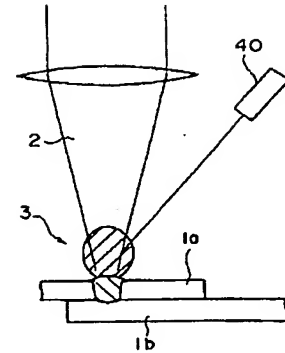
【図2】



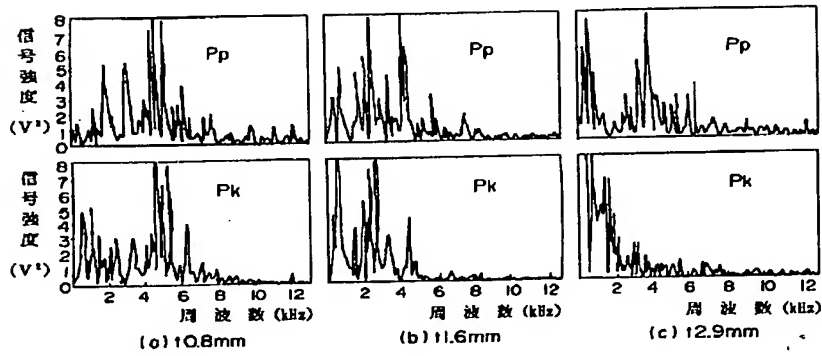
【図3】



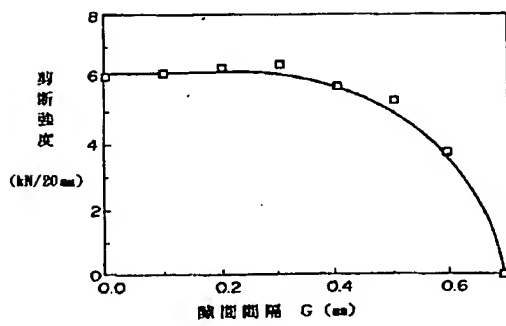
【図16】



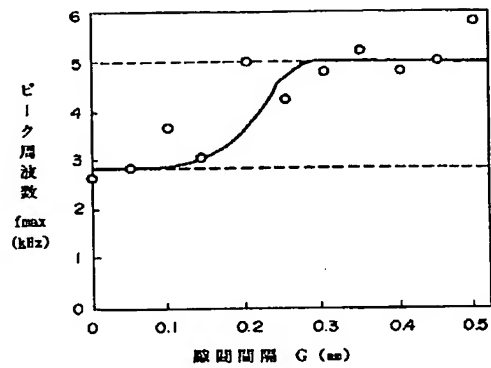
【図4】



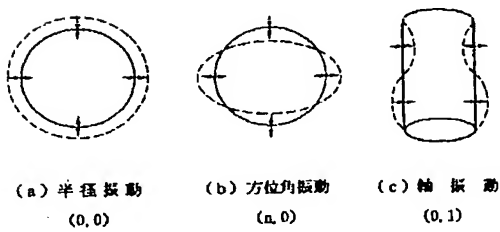
【図6】



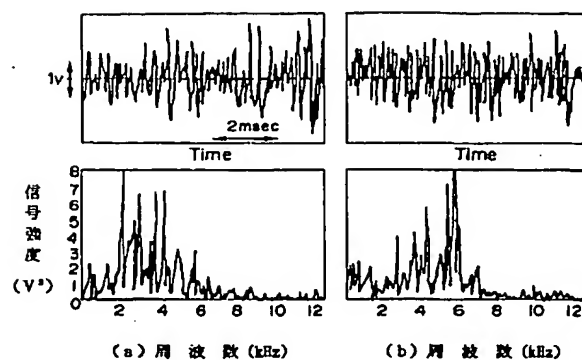
【図7】



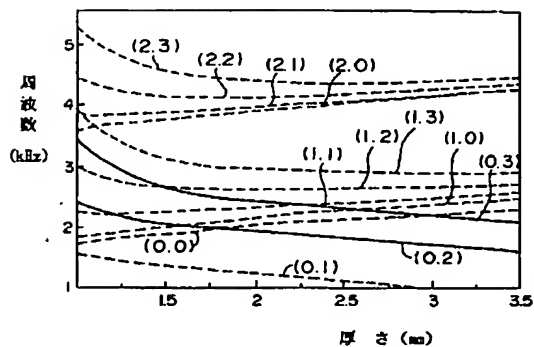
【図9】



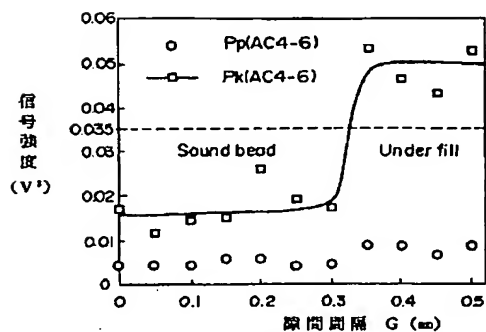
【図8】



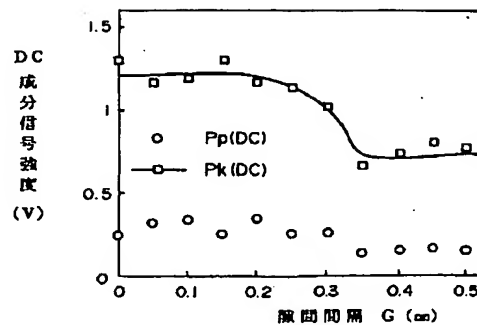
【図10】



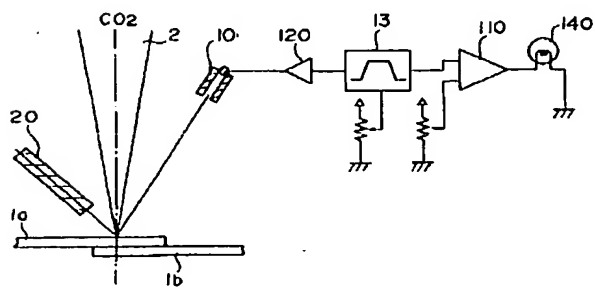
【図11】



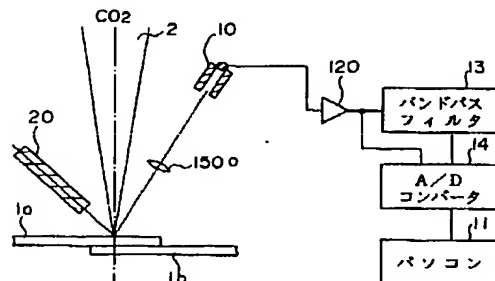
【図12】



【図13】

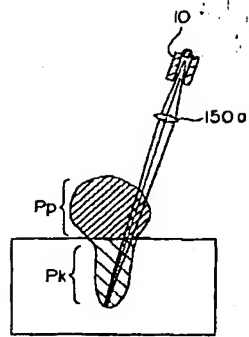


【図14】



【図15】

(a)



(b)

